

4 Газалеева Г.И. Методы улучшения качества асбеста. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2005. – 153 с.

5 Олышанский А. И. Регулярный тепловой режим и влияние критериев подобия тепло- массообмена на процесс конвективной сушки пористой керамики // Инженерно-физический журнал. 2016. Т. 89. № 1. С. 37-48.

6 Падохин В.А., Зуева Г. А., Кокурина Г. Н., Кочкина Н. Е, Федосов С. В. Комплексное математическое описание тепло- и массопереноса в процессе сушки неограниченного тела цилиндрической формы аналитическими методами теории теплопроводности // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т. 49. № 1. С. 54-64.

7 Кочелаев В.А., Газалеева Г.И., Осинцев А.А. Совершенствование технологии обогащения хризотил-асбеста на комбинате «Ураласбест» // Горный журнал. 2005. № 8. С. 24-28.

8 Газалеева Г.И., Тихонов О.Н. Проектирование комбинированных принципиальных схем на основе перебора концентратных фракций // Известия вузов. Горный журнал. 1987. № 5. С. 123-128.

УДК 669.2

А. Т. Ермеков¹, В. И. Матюхин², О. В. Матюхин², М. А. Путилов²

¹ Восточно-казахстанский технический университет,
г. Устькаменогорск, Казахстан;

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВЫНОСА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТАХ

Аннотация

Для снижения валового пылевыноса из высокотемпературных печей предлагается использовать энергию акустического поля, формируемого в их рабочем пространстве с применением акустических излучателей типа свистка Гартмана. Дано теоретическое обоснование внутрипечного пылеосаждения и разработаны принципы его реализации. На примерах промышленного внедрения показана эффективность использования этого способа.

Ключевые слова: *внутрипечное пылеосаждение, энергия акустического поля, свисток Гартмана.*

Abstract

For decrease in a gross pylevynos from high-temperature furnaces it is offered to use energy of the acoustic field of the type of a whistle of Gartman formed in their working space with use of acoustic radiators. Theoretical justification of intra oven dust precipitation is given and the principles of its realization are developed. On examples of industrial introduction the efficiency of use of this way is shown.

Key words: *intra oven dust precipitation, energy of the acoustic field, Gartman's whistle.*

При работе большинства металлургических агрегатов, использующих мелкодисперсные материалы или переработку жидкого расплава, выделяется большое количество пылевых частиц различного гранулометрического состава. Для снижения потерь перерабатываемых материалов и улучшения экологической обстановки в районе расположения предприятия на пути движения запыленных газов устанавливают последовательно ряд пылеулавливающих устройств (пылеосадительную камеру, циклонную установку, электрофильтр). Существующее состояние уровня технологии и конструкций металлургических печей ведет к высокой напряженности работы газоотводящего тракта, установленного на нем технологического оборудования, потерям исходных материалов, повышению экологической нагрузки на окружающую среду.

Одним из наиболее рациональных способов снижения пылевыноса является изменения условий пылеобразования и пылеосаждения на всех этапах движения шихтовых материалов и газов [1, 2]. Являясь наиболее крупным источником пыли, рабочее пространство агрегата может быть использовано для внутripечного пылеосаждения. При этом уловленные в пределах рабочего пространства агрегата частицы пыли присоединяются к исходным материалам и увеличивают это количество, участвующее в технологических процессах, повышая тем самым производительность агрегатов и уменьшая величины материальных и тепловых потерь с отходящими газами. Большой эффект от использования технологических приемов будет наблюдаться при оптимизации конструктивных и технологических параметров процесса, обеспечивающих интенсификацию тепломассообмена с получением высоких технико-экономических показателей конечного продукта. Несмотря на значительный парк пылеосадительных устройств и способов повышения их эффективности [1], использование известных аппаратов сопровождается снижением показателей работы агрегатов, требует дополнительных капитальных затрат на сооружение, переработки уловленного продукта (складирование, рециркуляция, утилизация) и энергетических затрат на восполнения тепловых потерь.

Одним из эффективных и малозатратных способов улучшения показателей работы металлургических агрегатов или их отдельных частей является использование внутриагрегатного пылеосаждения на основе использования энергии акустического поля [3], формируемого непосредственно в рабочем пространстве.

Под действием внешнего акустического поля на твердые элементы запыленного потока его отдельные твердые частицы (рис. 1) подвержены вынужденным колебаниям, радиационному давлению плоской звуковой стационарной волны, а также действию сил гидродинамического притяжения и отталкивания между элементами.

На каждую твердую частицу запыленного потока плотностью ρ , находящуюся в поле внешних акустических колебаний амплитудой A и угловой частотой ω в газовой среде со скоростью звука c , действует дополнительная периодическая сила с амплитудой колебаний

$$P_a = A \cdot \rho \cdot c \cdot \omega = \frac{\rho \cdot c \cdot \omega}{\omega} \sqrt{\frac{2J}{\rho \cdot c}} \cdot 10^7 = \sqrt{2J\rho c}, \text{ атм,}$$

величину которой можно изменять через конструктивные и технологические параметры процесса. Акустические колебания вызывают разрушение пограничного слоя около частиц и возникновение дополнительных конвективных потоков.

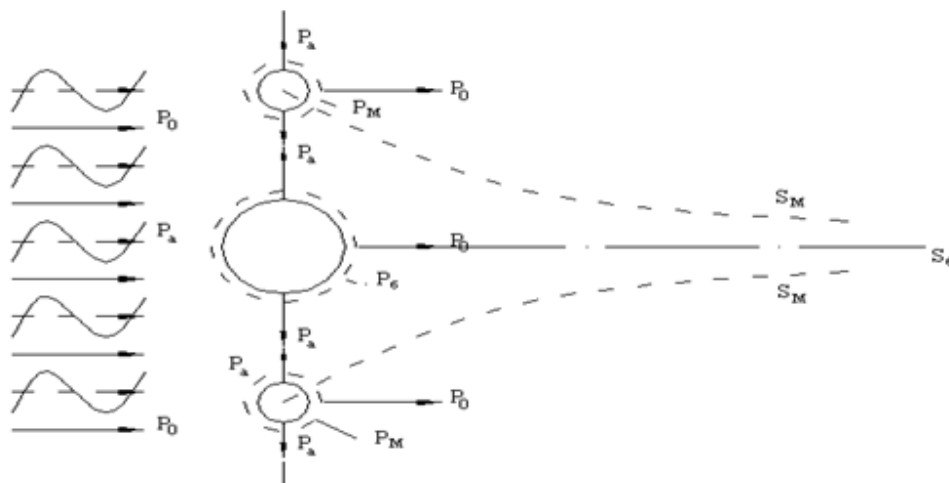


Рис. 1. Схема акустического воздействия на твердые элементы слоя:
 P_0 – статическое давление газового потока; P_a – акустическое давление;
 P_M – разрежение около малых элементов; P_6 – разрежение около больших элементов; S_M – траектория движения малых элементов; S_6 – траектория больших элементов

В разреженных средах могут возникать крупномасштабные контуры циркулирующих групп частиц, которые приводят к появлению поршневого эффекта. При полидисперсной структуре пылевых частиц их колебания приводят к формированию локальных зон с давлением, отличным от внешней окружающей среды. Чем больше размер обрабатываемых частиц, тем эта разница значительней. Поэтому, в запыленном потоке под действие внешних акустических колебаний мелкие частицы перемещаются ближе к крупным, вокруг которых образуется локальная зона повышенного разрежения. Это обеспечивает удерживание пылевидных фракций вокруг крупных частиц под действием акустического поля, что сокращает пылевынос.

Наиболее ощутимо этот эффект проявляется в условиях технологических процессов, отличающихся малыми значениями и повышенной запыленностью. Чем больше поперечный размер частиц, тем выше уровень создаваемого ею разрежения. Поэтому, при формировании акустического поля заданных параметров будет происходить перемещение мелких частиц к крупным с последующей их коагуляцией и выпадением из основного потока.

Образующиеся при этом стоячие звуковые волны формируют нестационарное скоростное поле в виде периодически изменяющихся во времени узлов и пучностей. Возникающее результирующее внешнее воздействие на газовые потоки концентрируется в точках неустановившейся

структуры вещества (межфазные поверхности, дефекты структуры, внешние и внутренние неоднородности), определяет их устойчивость и структуру стационарного движения [4].

При реализации внутриагрегатного пылеосаждения необходимо соблюдение следующих принципов:

1. Наиболее полное и непрерывное воздействие внешних колебаний на запыленную среду. Для этого, в соответствие с конструктивными особенностями агрегата, определяют места установки источников акустического воздействия с возможностью максимального воздействия на запыленный поток;

2. Необходимость реализации временного фактора акустического воздействия на запыленный поток;

3. Формирование акустического поля заданных параметров, установленных в соответствии с конструктивными особенностями агрегата и физико-химическими характеристиками пылевых частиц. Для этого расчетным и экспериментальным путем устанавливают оптимальные конструктивные и технологические параметры акустических газоструйных излучателей, обеспечивающих максимальное развитие требуемого технического эффекта (снижение пылевыноса, интенсификация тепломассообменных процессов, разрушение пылевых наростов и настылей и т.д.). В соответствие с данными лабораторных и промышленных испытаний определяется требуемая акустическая мощность применяемого поля и необходимое количество источников воздействия;

4. Промышленные испытания по использованию энергии акустического поля с оценкой эффективности пылеосаждения и развития тепломассообменных процессов.

Формирование акустического поля в слое предлагается осуществлять при помощи акустического излучателя (рис. 2) с применением волноводов различной конструкции. Акустический излучатель представляет собой разновидность газодинамического свистка Гартмана и состоит из сопла, резонатора и фокусирующей плоскости. Питание его осуществляют компрессорным воздухом давлением не ниже 3,0 атм. Установку этого устройства производят за пределами рабочего пространства, что облегчает его монтаж, обслуживание и эксплуатацию, а также снижает требования к материалам, из которых он изготавливается. Использование же акустического поля непосредственно в слое делают его безопасным для обслуживающего персонала.

Промышленные испытания использования энергии акустического поля для интенсификации тепломассообменных процессов на ряде технологических агрегатов (агломашина, плотный слой печи полимеризации, чугунолитейные и минераловатные вагранки, шахтный агрегат цветной металлургии) показали широкие возможности применения этого способа.

Так промышленные испытания этого процесса в условиях агломашины АК-50 Серовского металлургического завода в течение длительного времени подтвердили безопасность его использования. Кроме того, были показаны возможности увеличения производительности агрегата на величину до 15...20 %, повышения глубины протекания основных физико-химических

реакций в слое, снижения вредных выбросов из агломашины (CO , NO_x , пыль), уменьшения удельного расхода топлива на процесс на 10...15 %.

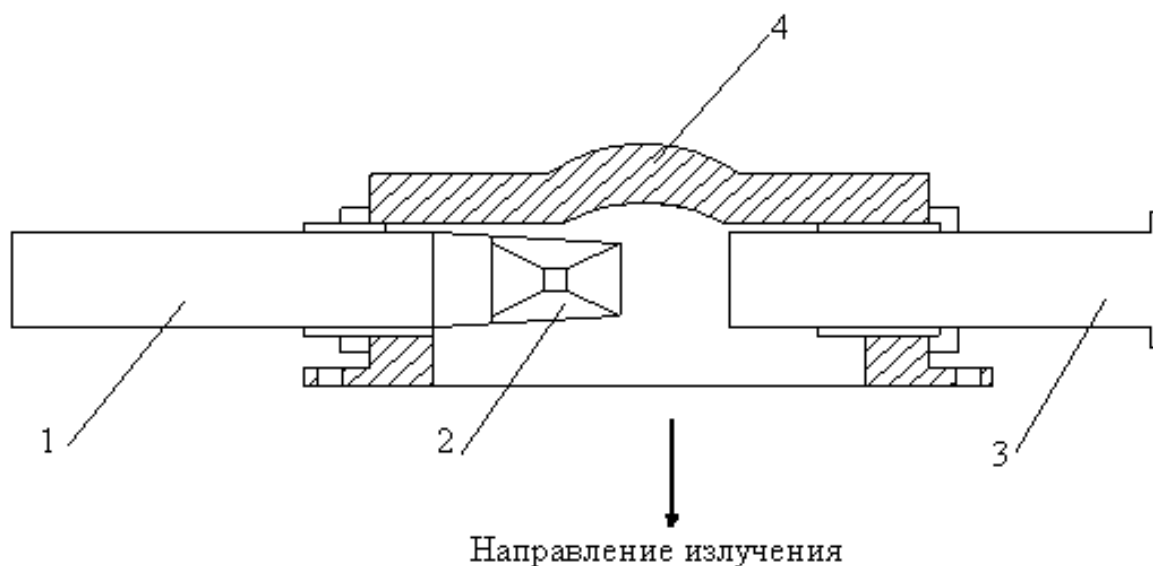


Рис. 2. Конструкция акустического излучателя: 1 – сопловая труба; 2 – воздушное сопло; 3 – резонатор; 4 – фокусирующая плоскость

На печи полимеризации волокнистых материалов в зависимости от ее конструкции было установлено от двух до шести излучателей в камерах вакуумирования и сушки. Испытания показали возможность увеличения производительности агрегата на 30...35 % с улучшением качества использования органического связующего.

Результаты использования энергии акустического поля в рабочем пространстве чугунолитейных и минераловатных вагранок, шахтных агрегатов цветной металлургии (г. Кировград) показали возможность увеличения производительности плавильных агрегатов на 10...15 % при соответствующем снижении расхода кокса и объема вредных выбросов. При этом отмечено разрушение образующихся настелей при движении газов и материалов, что повышает производительность плавильного агрегата и уменьшает затраты на его обслуживание.

Формирование поля звуковых колебаний заданных параметров в движущемся запыленном потоке мелкодисперсной шихты вращающихся печей глиноземного производства Богословского алюминиевого завода как в направлении движения газов, так и в противоположную сторону позволили установить устойчивую тенденцию снижения пылевыноса за пределы рабочего пространства на величину до 40 %. При этом наблюдалось более полное завершение всех химических преобразований в твердых компонентах.

Длительный период (с сентября 2009 г.) использования акустических излучателей на шахтных печах (г. Кировград) показал возможность практически полного разрушения образующихся в рабочем пространстве шихтовых настелей. Кроме того, отмечена возможность увеличения производительности

агрегата на 5...10 % при снижении общего количества пылевых выбросов на величину до 25 %.

Анализ данных промышленных испытаний использования энергии акустического поля в рабочем пространстве ПЖВ (СУМЗ, г. Ревда) показал, что при близких параметрах работы агрегата применение энергии акустического поля приводит к снижению выноса пыли на 10,94 %. При этом внутривспышное осаждение пыли приводит к возрастанию выхода штейна примерно на 406 кг/ч и шлака на 1299 кг/ч. При среднем содержании меди в штейне 51,7 % это мероприятие обеспечивает возможность увеличения количества получаемой меди на величину до 210 кг/ч.

Результаты испытаний на конвертере №2 ОАО «СУМЗ» с использованием энергии акустического поля двух излучателей с давлением 3,0 атм., установленных в пылевой камере, и двух излучателей на входе в циклоны, показали, что в первый период конвертирования расплава общая степень пылеочистки газов возросла до 56-72 %. Во втором периоде степень пылеосаждения с использованием акустических излучателей увеличивалась в среднем на 22 %.

Использование акустических излучателей для пылеосаждения в пылевой камере вельцовой, а также очистки теплообменных поверхностей котла (ОАО «Челябинский цинковый завод») показало, что при прочих равных условиях достигнуто увеличение количества оборотной пыли на 8,74 % за счет интенсификации процесса внутриагрегатной коагуляции на 25-30 %, количество вельокиши повышено на 2,99 % за счет снижения гидравлического сопротивления пылевой камеры и котла и увеличения скорости движения газов.

Установка акустического излучателя в верхней части конвективных теплообменных поверхностей для разрушения образованного на них пылевого слоя привела к снижению температуры отходящих газов на выходе из экономайзера на 20 градусов или 6,97 %, увеличению общего давления пара в баке-сепараторе на 19,7 %, повышению производительности котла-утилизатора на 23,19 % по пару за счет интенсификации теплообменных процессов.

Акустическое поле в слое создается компрессорным воздухом давлением не ниже 3 атмосфер при максимальном расходе не более 50 м³/ч. Подвод компрессорного воздуха следует производить металлическими трубами. Возможна замена компрессорного воздуха низкогопотенциальным паром.

Простота конструкции и способа применения энергии акустического поля, небольшие капитальные затраты на его реализацию, возможность применения на действующем агрегате без нарушения основного технологического процесса позволяет рекомендовать его для промышленных испытаний на существующем оборудовании. Использование акустических излучателей позволяет увеличить внутриагрегатное пылеосаждение на 20-25 % от исходного состояния, а также достичь ряда дополнительных эффектов интенсификации тепломассообменных процессов при работе технологических агрегатов.